

Otrzymano: 2006.04.06
Zaakceptowano: 2006.11.14

Quality Control in diagnostic radiology according to national regulations

Kontrola Jakości aparatury rtg. stosowanej w rentgenodiagnostyce w świetle przepisów prawnych

Joanna Domienik, Wojciech Chruścielewski, Jerzy Jankowski

Zakład Ochrony Radiologicznej, Instytut Medycyny Pracy im. Prof. J. Nofera, Łódź, Polska

Adres autora: Zakład Ochrony Radiologicznej, Instytut Medycyny Pracy im. Prof. J. Nofera, ul. Św. Teresy od Dzieciątka Jezus 8, 91-348 Łódź, e-mail: jdom@imp.lodz.pl

Summary

The aim of the paper is to review the main aspects of quality control of radiological devices according to the current national regulations. Explanation of the physical principles of image formation by different test phantoms used to measure focal spot sizes is presented in appendix. The obligation for quality assurance (QA) for all X-ray systems which follows European standards was enforced in updated "Atomic Law Act" of 29 November 2000. This document is the main regulatory act which establishes the basic safety standards for radiation protection in Poland. The main modifications introduced by this new Act concerned the issue of radiation protection of individuals undergoing medical examinations with the use of ionizing radiation which is regulated by EC Directive 97/43 Euratom. According to this Directive quality assurance programmes, including quality control measures need to be implemented by the holder of the radiological installation. Therefore, in the above Act the Minister of Health has been obligated to impose specific regulations describing the way of implementation of general principles laid down in the Directive. Some of these regulations, like those concerning QC tests and tolerances, have already been mentioned in the document titled "On the conditions for safe application of ionizing radiation in medicine".

For example, the QC program in radiography is being considered; the obligatory tests- acceptance, routine and annual- are discussed and specific procedures are being indicated.

The main idea of the document "On the conditions for safe application of ionizing radiation in medicine" which concerns radiation protection of patients and staff against ionizing radiation used in medicine is to implement the surveillance of all X-ray systems in form of acceptance tests followed by internal tests (routine and annual) performed in accordance with European standards.

Key words: quality control • quality control tests • slit camera • pinhole • star phantom

PDF file: http://www.polradiol.com/pub/pjr/vol_71/nr_4/9037.pdf

Wstęp

Kontrola jakości pracy aparatury rtg. jest jednym z elementów systemu zarządzania jakością w radiologii diagnostycznej. Jej zadaniem jest utrzymanie lub poprawa funkcjonowania urządzeń radiologicznych w celu zagwarantowania

wysokiej jakości świadczonych usług medycznych przy jednoczesnym zapewnieniu ochrony radiologicznej pacjenta. Idea wprowadzenia kontroli jakości pracy aparatury rentgenowskiej, choć nie nowa, pozostaje wciąż aktualna, podczas gdy metody jej przeprowadzania ulegały z czasem pewnym modyfikacjom. Zmiany te obserwuje się od

momentu formalnego zaakceptowania metod kontroli jakości pracy aparatów rtg. przez grupę ekspertów na spotkaniach organizowanych pod patronatem WHO w Brukseli (1977 r.) i Neuherbergu (1979 r.). Konieczność ich wprowadzenia wynikała z ciągłego unowocześniania aparatury rtg. jak również zestawów testujących, fantomów, a więc wyposażenia służącego do przeprowadzania testów parametrów urządzeń radiologicznych – podstawowego narzędzia kontroli jakości pracy aparatury rtg. W szczególności zmiany metod kontroli wynikają z ciągłej tendencji unowocześniania aparatury rtg. w kierunku zmniejszenia dawek przy jednoczesnym polepszeniu jakości obrazowania.

W Polsce obowiązek kontroli jakości aparatów rtg. w sposób uwzględniający standardy obowiązujące w Unii Europejskiej wprowadzony został na mocy ustawy „Prawo Atomowe” z dnia 29 listopada 2000 r. [1], stanowiącej nowelizację poprzedniej ustawy. Jest to główny akt prawny regulujący podstawy ochrony radiologicznej w naszym kraju. Zmianom uległy między innymi przepisy odnoszące się do ochrony zdrowia ludności przed promieniowaniem jonizującym stosowanym w celach medycznych, której wymogi określa europejska Dyrektywa 97/43/Euratom. Jednym z wymogów znówelizowanej ustawy [1] wynikających z powyższej dyrektywy jest zobowiązanie jednostek ochrony zdrowia świadczących usługi radiologiczne w zakresie badań diagnostycznych i zabiegowych do wprowadzenia i realizowania systemu zarządzania jakością, w skład którego wchodzi między innymi kontrola jakości aparatów rtg. Zgodnie z art. 33c ust. 9 oraz art. 46 ustawy [1] do określenia zasad działania tego systemu oraz zakresu działań kontrolnych wynikających z jego wprowadzenia zobowiązany został minister właściwy do spraw zdrowia.

Opis przypadku

Niniejsza praca stanowi omówienie zapisów dotyczących wymogu i metod kontrolowania aparatury rtg., które znajdują się w rozporządzeniu do wyżej wymienionych artykułów. By uczynić ją bardziej przejrzystą, zagadnienia kontroli aparatury rtg oraz regulujące je przepisy prawne omówione zostały w odniesieniu do rentgenodiagnostyki.

Omówienie

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia w sprawie warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji medycznej [2], każde zainstalowane urządzenie radiologiczne w okresie eksploatacji winno posiadać aktualne świadectwo testów akceptacyjnych. Ich zadaniem jest przede wszystkim ocena parametrów technicznych aparatury rtg. pod względem ich zgodności z : charakterystyką techniczną przedstawioną przez producenta lub dostawcę aparatury określonymi w odpowiednich standardach [3], [4]. Testom akceptacyjnym podlegają nowo instalowane urządzenia radiologiczne oraz te, które poddane zostały istotnej naprawie np. wymianie lampy rtg. Wykonywać je mogą akredytowane laboratoria badawcze lub wspólnie uprawnieni przedstawiciele zarówno dostawcy jak i użytkownika. W przypadku konwencjonalnych aparatów oraz aparatów wyposażonych w tor wizyjny, przeprowadza się je zgodnie z normami IEC serii 61223 [5]. Oprócz testów akceptacyjnych, na podstawie

§ 10 ust. 1 projektu rozporządzenia Ministra Zdrowia [2], urządzenia radiologiczne podlegają wewnętrznym testom kontroli fizycznych parametrów. Wewnętrzne testy kontroli dzielą się na testy podstawowe i testy specjalistyczne. Obejmują one kontrolę określone dla danego typu testów wewnętrznych parametry: lampy rentgenowskiej, wiązki promieniowania X, detektora obrazu, a także system automatyki obrazu oraz proces wywoływania filmów.

Testy wchodzące w skład testów podstawowych są to rutynowe testy wykonywane przez pracowników jednostki ochrony zdrowia uprawnionych do obsługi urządzeń radiologicznych. Ich zadaniem jest monitorowanie pracy aparatury w celu uchwycenia potencjalnych nieprawidłowości w jej działaniu i podjęcie odpowiednich kroków zmierzających do ich usunięcia. Testy podstawowe, np. dla radiografii ogólnej, obejmują kontrolę:

- Geometrię (prostotałość osi wiązki, zgodność pola promieniowania rentgenowskiego z polem świetlnym, płaszczyzna pola świetlnego) – raz w miesiącu
 - Powtarzalność ekspozycji/dawki – raz w miesiącu
 - Rozdzielczość przestrzenną – co 6 miesięcy
 - Kratkę przeciwrozproszeniową (ocena obrazu kratki, ocena obrazu kratki ruchomej, jednorodność) – raz na kwartał
 - System automatycznej kontroli ekspozycji (AEC) (ocena systemu AEC przy zmianie wysokiego napięcia, ocena systemu AEC przy zmianie grubości fantomu, ocena czułości komór systemu AEC) – co 6 miesięcy
 - Kasety (przyleganie ekranu wzmacniającego do błony, szczelność kaset) – co 6 miesięcy
- a także urządzenia oraz pomieszczenia wykorzystywane w procesie wywoływania filmów jak i sam proces wywoływania:
- Ciemnia (szczelność ciemni, oświetlenie robocze) – raz na rok
 - Proces wywoływania (gęstość minimalna, wskaźnik światłoczułości, wskaźnik kontrastowości wyrażony średnim gradientem, temperatura wywołacza) – codziennie
 - Warunki oceny zdjęć rentgenowskich (wizualne sprawdzenie czystości powierzchni negatoskopu, wizualne sprawdzenie równomierności i stabilności świecenia powierzchni negatoskopu, wizualne sprawdzenie barw negatoskopu) – przed rozpoczęciem pracy
 - Warunki przechowywania błon (zgodność wartości temperatury oraz wilgotności względnej w pomieszczeniu, gdzie magazynowane są błony z zaleceniami producenta) – raz na tydzień

Testy specjalistyczne obejmują szerszy zakres kontrolowanych parametrów i z tego powodu dają one dokładniejszą ocenę stanu urządzenia radiologicznego. Testy te, zgodnie

z rozporządzeniem [2], powinny być wykonywane co najmniej raz na rok przez laboratoria badawcze posiadające akredytację na zgodność z normą PN-EN ISO 17025 w zakresie wykonywania testów specjalistycznych. Dopuszcza się również możliwość wykonywania omawianych testów przez jednostki ochrony zdrowia dla własnych potrzeb pod warunkiem, że posiadają one akredytację oraz kadrę i aparaturę odpowiednią do ich wykonywania. Ze względu na fakt, że dostosowanie do przepisów nowego prawa zajmie adresatom rozporządzenia pewien czas, wprowadzono rozdział 7 „Przepisy przejściowe i końcowe”. Zapisy tam zamieszczone umożliwiają wykonywanie testów z zakresu testów specjalistycznych do 31 grudnia 2010 r. również przez laboratoria nieakredytowane (laboratoria Państwowej Inspekcji Sanitarnej oraz upoważnione przez państwowego wojewódzkiego inspektora sanitarnego).

W zakresie testów specjalistycznych, dla np. radiografii ogólnej, leży kontrola:

– parametrów lampy i generatora takich jak

- wysokie napięcie
- całkowita filtracja
- czas ekspozycji
- warstwa pochłonna
- wydajność lampy
- wielkość ogniska

– geometrii wiązki promieniowania:

- geometria (zgodność osi wiązki promieniowania rentgenowskiego ze środkiem rejestratora, zgodność środka pola rentgenowskiego ze środkiem pola świetlnego, zgodność środka pola świetlnego ze środkiem rejestratora w szufladzie, kolimacja ręczna (zgodność promieniowania rentgenowskiego z polem świetlnym, ograniczenie pola wiązki do rozmiarów rejestratora obrazu), kolimacja automatyczna, prostopadłość osi wiązki)

– detektora obrazu i elementów biorących udział w jego tworzeniu

- ekran wzmacniający (ocena czułości ekranów wzmacniających znajdujących się w pracowni rtg.)
- kratka przeciwrozproszeniowa (jak w przypadku testów podstawowych)

– urządzeń oraz pomieszczeń wykorzystywanych w procesie wywoływania filmów jak i sam proces:

- Ciemnia (jak w przypadku testów podstawowych)
- Proces wywoływania (gęstość minimalna, wskaźnik światłoczułości, wskaźnik kontrastowości wyrażony średnim gradientem)

- Warunki oceny zdjęć rentgenowskich (luminancja negatospotu, jednorodność negatospotu, natężenie oświetlenia zewnętrznego powierzchni negatospotu)

– systemy automatyki

- System automatycznej kontroli ekspozycji (AEC) (ograniczenie ekspozycji, ograniczenie czasu ekspozycji, ocena systemu AEC przy zmianie natężenia prądu, ocena systemu AEC przy zmianie wysokiego napięcia, ocena czułości systemu AEC przy zmianie grubości fantomu, ocena czułości komór systemu AEC)

oraz inne parametry takie jak np.:

- Oświetlenie pola symulującego pole promieniowania
- Odległość ognisko rejestrator obrazu

Równocześnie, niezależnie od częstości wykonywania testów podstawowych i specjalistycznych podanej powyżej, po każdej naprawie urządzenia radiologicznego należy wykonać testy wewnętrzne, których zakres powinien korespondować z zakresem wykonanej naprawy.

Regulacje zamieszczone we wspomnianym wyżej rozdziale „Przepisy przejściowe i końcowe” nakładają również na jednostki ochrony zdrowia stosujące promieniowanie jonizujące w celach medycznych obowiązek wprowadzenia systemu zarządzania jakością do 31 grudnia 2006 r. W szczególności dokumentacja tego systemu powinna zawierać informacje o wynikach przeprowadzonych testów wewnętrznych kontroli parametrów fizycznych urządzeń radiologicznych i urządzeń pomocniczych oraz testów akceptacyjnych. Zatem od tego momentu (31 grudnia 2006 r.) jednostki ochrony zdrowia mają obowiązek posiadania aktualnego świadectwa testów kontroli parametrów fizycznych.

Szczegółowy zakres testów wewnętrznych (zarówno podstawowych jak i specjalistycznych) oraz dopuszczalne odchylenia badanych parametrów określone są w Załączniku nr 6 do rozporządzenia [2], a dokładne instrukcje niezbędne do przeprowadzenia testów kontroli jakości w konwencjonalnych aparatach rentgenowskich wyposażonych w tor wizyjny na poziomie specjalistycznym podane zostały np. w opracowaniu [6]. Dla pracowników Wojewódzkich Stacji Sanitarnej Epidemiologicznych (WSSE), których zadaniem jest min. przeprowadzanie testów fizycznych parametrów aparatury rtg., prowadzi się również szkolenia z zakresu kontroli jakości.

Aparatura pomiarowa używana do wykonywania testów wewnętrznych i akceptacyjnych zgodnie z zapisami § 9 rozporządzenia Ministra Zdrowia [2] podlega wzorcowaniu lub sprawdzeniu z częstością raz na dwa lata. Dla testów akceptacyjnych, w przypadku, gdy określone dla danego parametru tolerancje zostaną przekroczone należy, zgodnie z standardami serii IEC serii 61223 [5], pomiar powtórzyć co najmniej dwukrotnie. Jeśli wynik znajdzie się na granicy tolerancji należy, zgodnie z tymi samymi normami, uwzględnić błąd pomiaru będący sumą błędów statystycznego pomiaru i dokładności wskazań aparatury (dokładność wskazań jest traktowana jako błąd systematyczny) [7].

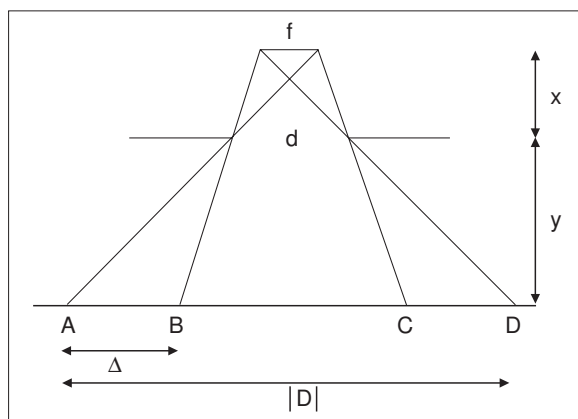


Figure 1. Image formation by a slit camera.

Rycina 1. Schemat powstawania obrazu przy użyciu fantomu szczelinowego.

Aby mieć całkowitą pewność w przypadku, gdy pomiar jest wątpliwy, dobrze jest go zweryfikować, jeśli to jest tylko możliwe, przy użyciu jeszcze innej metody (np. stosując inny fantom). Możliwość taka istnieje np. w przypadku pomiaru ogniska, bowiem na rynku dostępnych jest kilka rodzajów fantomów jak np. fantom: szczelinowy, 'pinhole', paskowy, gwiazdowy.

Pomiar parametrów takich jak wysokie napięcie, czas ekspozycji, wydajność lampy nie stwarza większych kłopotów, gdyż do przeprowadzenia tego typu pomiarów należy użyć zalecanych mierników i postępować zgodnie z instrukcją ich obsługi. Testy parametrów, do pomiaru których wykorzystuje się obraz fantomu na błonie wymagają, dla prawidłowego przeprowadzenia i interpretacji, znajomości zasad tworzenia się obrazów przy ich użyciu. Z tego powodu wydawało się celowe umieszczenie krótkiej dyskusji tych zasad w Dodatku, gdzie zostały one wyjaśnione na przykładzie fantomów do pomiaru wielkości ogniska.

Wnioski

Główną ideą rozporządzenia [2] związaną z ochroną pacjenta i personelu przed promieniowaniem jonizującym stosowanym w celach medycznych jest wprowadzenie nadzoru nad aparaturą rtg., który realizowany byłby w formie testów akceptacyjnych oraz wewnętrznych (podstawowych i specjalistycznych) zgodnych ze standardami europejskimi. Testy podstawowe mają służyć codziennej, bieżącej kontroli aparatury pod kątem jej sprawności, jakości obrazowania, bezpieczeństwa pacjentów i personelu. Z tego względu ich głównym celem jest ocena pracy urządzenia jako całości i uchwycenie ewentualnych odchyłń parametrów od ich wartości określonych w czasie testów akceptacyjnych. Z kolei testy specjalistyczne przeznaczone są do bardziej szczegółowej oceny działania poszczególnych elementów aparatury co umożliwia dokładniejszą lokalizację ewentualnych przyczyn wadliwego działania aparatu rtg.

Dodatek

Pomiar wielkości ogniska oparty jest na prostych zasadach optyki geometrycznej, która jest tutaj znakomitym przybliżeniem ze względu na bardzo małą długość fali promieniowa-

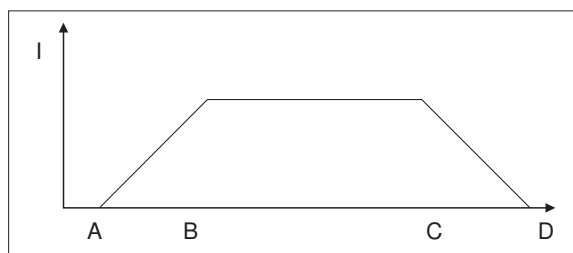


Figure 2. Distribution of radiation intensity in a film.

Rycina 2. Rozkład natężenia promieniowania w miejscu, gdzie znajduje się błona¹.

nia rentgenowskiego. Rzeczywiście, typowy rozmiar szczelin używanych fantomów służących do tego celu jest rzędu $d = 0,03$ mm, zaś typowa energia promieniowania X w konwencjonalnych aparatach rtg. jest rzędu 50 keV, co odpowiada długości fali $\lambda \sim 2,5 \cdot 10^{-11}$ m. Ugięcie kątowe wynikające z dyfrakcji jest rzędu $\theta \sim \lambda/d \sim 8 \cdot 10^{-10}$, a zatem rozmycie obrazu w odległości $x \sim 1$ m wyniesie $x\theta \sim 8 \cdot 10^{-10}$ m – nie ma więc potrzeby uwzględniania efektów dyfrakcyjnych.

Skończone rozmiary ogniska i szczelin fantomu powodują powstanie stref pełnego naświetlenia, półcienia i cienia, których rozkład jest jednoznacznie związany z geometrią układu ognisko – fantom. Znajomość tego rozkładu pozwala wyliczyć długość i szerokość ogniska. Podstawowa zasada powstawania obrazu jest prosta: oświetlenie danego punktu jest, przy zaniedbaniu efektów związanych ze zmianą odległości od źródła i kąta padania, proporcjonalne do ułamka pola ogniska widocznego z tego punktu.

Podstawowym fantomem używanym do pomiarów wymiarów ogniska jest fantom szczelinowy.

Rozkład naświetlenia po przejściu promieniowania przez taki fantom pokazany jest na Ryc. 1 i 2.

Punkty B i C ograniczają obszar pełnego naświetlenia, a odcinki AB i CD wyznaczają obszary półcienia. Wielkością mierzoną jest rozmiar obrazu, czyli odległość $AD \equiv D$; rozmiar półcienia, czyli wspólną długość odcinków AB i CD oznaczamy przez Δ . Ryc. 2 przedstawia zależność natężenia promieniowania w miejscu, gdzie znajduje się błona. Wykorzystując oznaczenia na Ryc. 1 możemy napisać następujące proporcje:

$$(D - \Delta)/d = (x+y)/x \quad (1)$$

$$f/\Delta = x/y \quad (2)$$

Oznaczając $M = D/d$ oraz $m = (x+y)/x$ (m oznacza powiększenie w przypadku punktowego ogniska) otrzymujemy z powyższych proporcji następującą relację:

$$f = d(M-m)/(m-1) \quad (3)$$

Zasada ta jest prawdziwa wówczas, gdy długość szczeliny jest większa niż mierzony wymiar ogniska w przeciwnym wypadku, przedstawionym graficznie na Ryc. 3, szczelina działa jak 'camera obscura'.

¹ Natężenie promieniowania będzie proporcjonalne do gęstości optycznej w punktach odpowiadających liniowej części krzywej charakterystycznej błony.

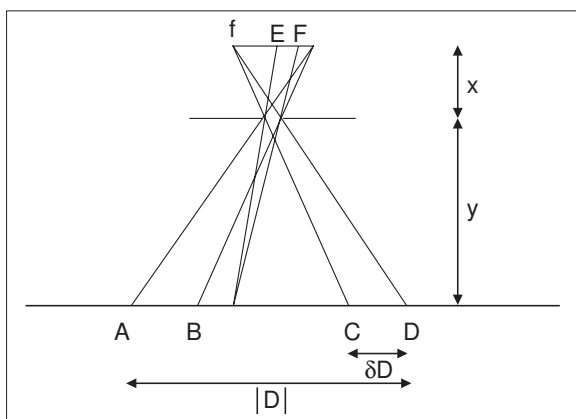


Figure 3. Part of a focal spot seen from any point lying in a region between B and C.

Rycina 3. Część ogniska jaką widać z punktów leżących w obszarze między B i C.

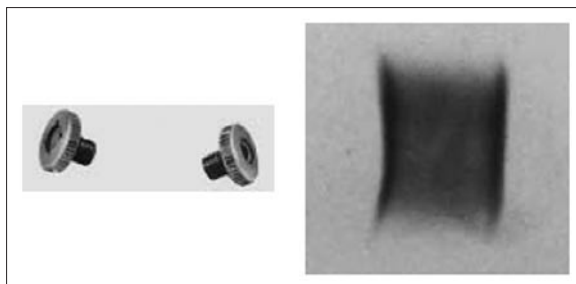


Figure 5. Pinhole phantom on the left, magnified pinhole image of a focal spot on the right.

Rycina 5. Z lewej fantom dziurkowy, z prawej – powiększony obraz ogniska uzyskany przy użyciu fantomu dziurkowego.

Na Ryc. 3 widać, że z punktów leżących w pewnym ograniczonym obszarze w miejscu, gdzie znajduje się błona (obszar między punktami B i C) widać będzie teraz taką samą część pola ogniska równą odległości $|EF|$. Obszar ten będzie równomiernie napromieniowany (jeśli pominąć zmianę zaczerwienienia wynikającą z odległości od źródła), a szerokości półcienia będą, nie jak w poprzednim przypadku, proporcjonalne do mierzonego wymiaru ogniska (f), lecz do szerokości szczeliny (d) (dokładnie będą równe powiększonej szerokości szczeliny). Widać więc, że w przypadku, gdy d jest kilkakrotnie mniejsze niż f (a tak właśnie jest w przypadku fantomów tego typu zalecanych w standar-

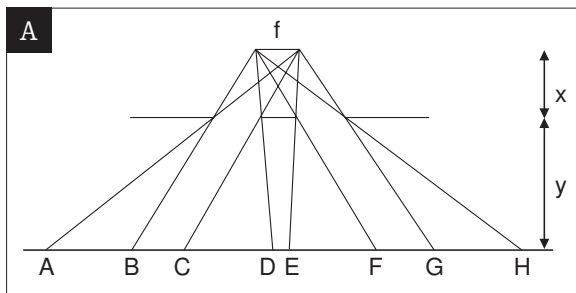


Figure 7. A. Image formation by two slits **B.** Distribution of radiation intensity in a film; the case when penumbras (edge gradient) regions do not overlap.

Rycina 7. A. Schemat powstawania obrazu przy użyciu fantomu z dwoma szczelinami **B.** Rozkład natężenia promieniowania w miejscu, gdzie znajduje się błona; przypadek gdy strefy półcienia nie przekrywają się.

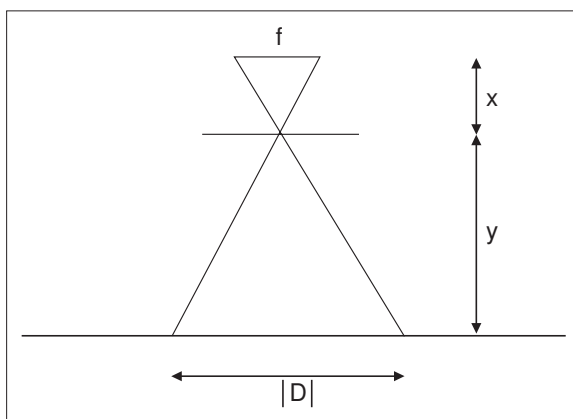


Figure 4. Formation of an image by 'camera obscura'.

Rycina 4. Schemat działania 'camera obscura'.

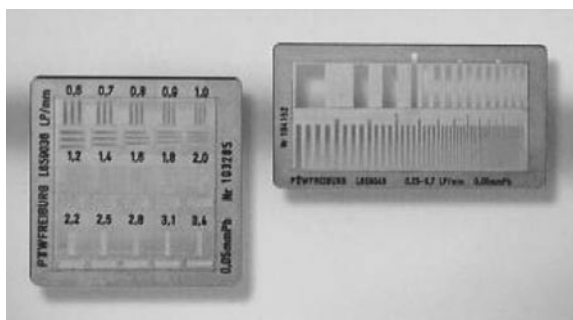


Figure 6. Bar pattern phantoms.

Rycina 6. Fantomy paskowe.

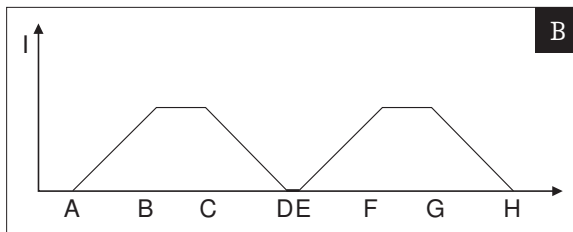
dach: d jest rzędu setnych części milimetra, czyli ponad rząd mniej niż typowe wymiary ogniska), rozmiar ogniska można, z dobrą dokładnością, przybliżyć wzorem:

$$f = Dx/y, \quad (4)$$

gdzie D jest zmierzona szerokością zaczerwienienia. Łatwo zobaczyć, że wzór ten odpowiada sytuacji, w której zakładamy punktowe rozmiary szczeliny tzn. taki jak na Ryc. 4.

Powyższy rysunek przedstawia dobrze znaną zasadę działania 'camera obscura'.

Gdy chcemy dokładnie uwzględnić szerokość szczeliny, musimy postąpić podobnie jak w rozważanym poprzednio przypadku szczeliny większej niż ognisko. Odpowiednie relacje mają wtedy postać:



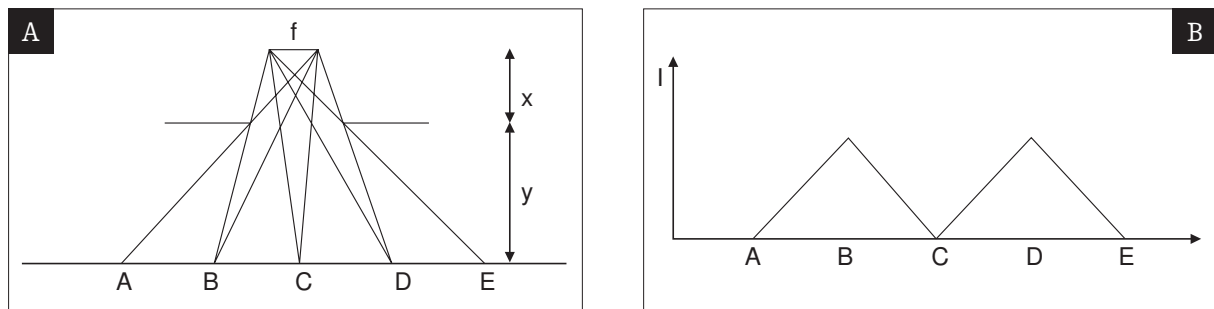


Figure 8. A. Image formation by two slits B. Distribution of radiation intensity in a film; the critical case when penumbras (edge gradients) from both slits meet.

Rycina 8. A. Schemat powstawania obrazu przy użyciu fantomu z dwoma szczelinami B. Rozkład natężenia promieniowania w miejscu, gdzie znajduje się błona; przypadek graniczny gdy strefy półcienia stykają się.

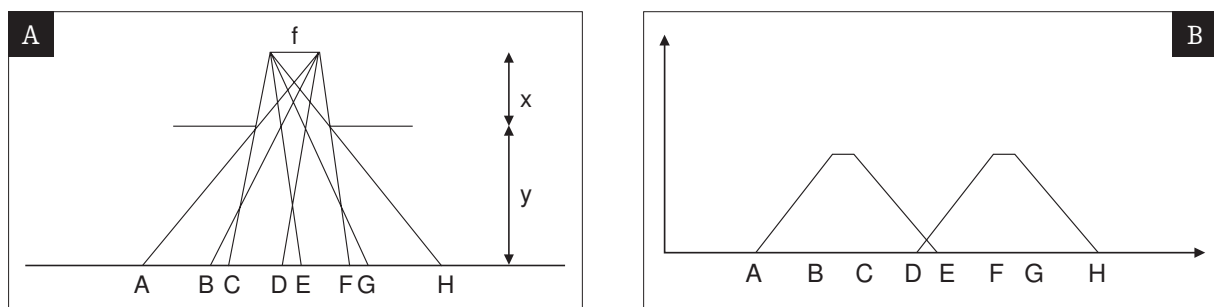


Figure 9. A. Image formation by two slits B. Distribution of radiation intensity from both slits C. Total radiation intensity distribution in a film; the case when penumbras (edge gradient) partially overlap.

Rycina 9. A. Schemat powstawania obrazu przy użyciu fantomu z dwoma szczelinami B. Rozkład natężenia promieniowania od dwóch szczelin C. Wypadkowy rozkład natężenia w miejscu, gdzie znajduje się błona; przypadek gdy strefy półcienia częściowo się przekrywają.

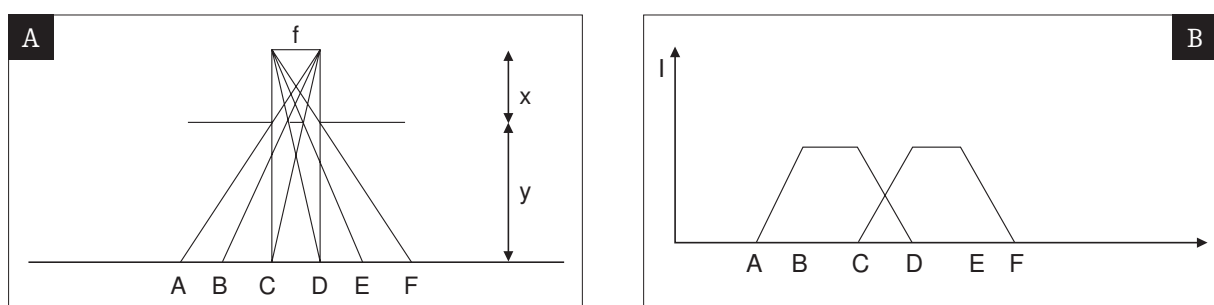


Figure 10. A. Image formation by two slits B. Distribution of radiation intensity from both slits C. Total radiation intensity distribution in a film; the critical case when penumbras (edge gradients) originating from both slits meet.

Rycina 10. A. Schemat powstawania obrazu przy użyciu fantomu z dwoma szczelinami B. Rozkład natężenia promieniowania od dwóch szczelin C. Wypadkowy rozkład natężenia w miejscu, gdzie znajduje się błona; przypadek graniczny gdy koniec półcienia od jednej szczeliny pokrywa się z początkiem półcienia od drugiej szczeliny.

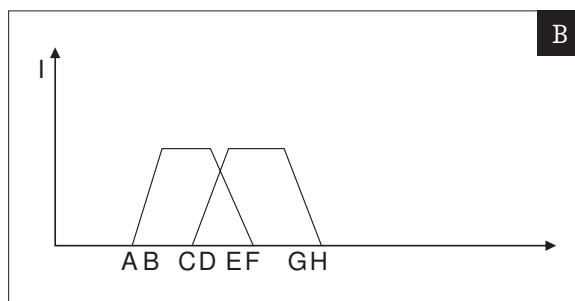
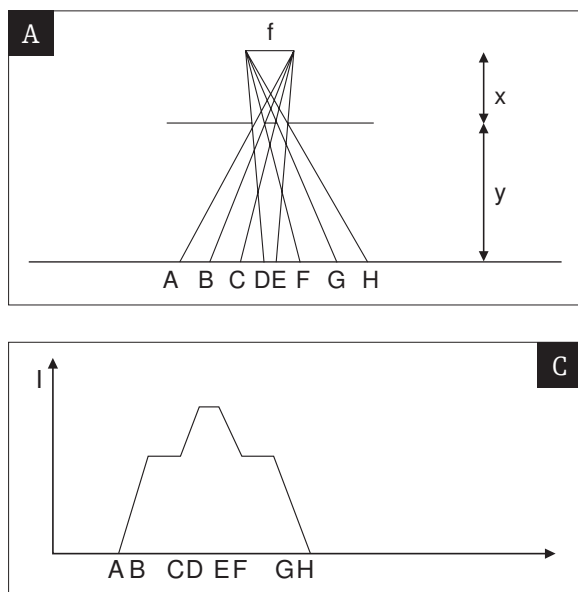


Figure 11. A. Image formation by two slits B. Distribution of radiation intensity from two slits C. Total intensity distribution in a film; the case when a penumbra (edge gradient) originating from the first slit overlaps the region of full irradiation originating from the second slit.

Rycina 11. A. Schemat powstawania obrazu przy użyciu fantomu z dwoma szczelinami B. Rozkład natężenia promieniowania od dwóch szczelin C. Wypadkowy rozkład natężenia w miejscu, gdzie znajduje się błona; przypadek gdy półcień od jednej szczeliny nachodzi na obszar pełnego naświetlenia od drugiej.

$$(D - \delta D)/f = y/x \quad (5)$$

$$\delta D/d = (x+y)/x \quad (6)$$

i prowadzą do wzoru końcowego na f:

$$f = Dx/y - d(x+y)/y = d(M-m)/(m-1), \quad (7)$$

gdzie oznaczenia są takie same jak we wzorze (3).

Widać, że w granicy małej szerokości szczeliny, $d = 0$, wzór (7) pokrywa się ze wzorem (4).

Na tej samej zasadzie 'camera obscura' działa fantom zwany 'pinhole', którego konstrukcja – jest to przesłona w kształcie otworu, którego średnice, w zależności od typu fantomu, wynoszą 0.01 mm, 0.03 mm, 0.075 mm – sprawia, iż działa on jak 'camera obscura' we wszystkich kierunkach i pozwala przy jednej ekspozycji ocenić pełny kształt ogniska. Ryc. 5 przedstawia fantom 'pinhole' oraz obraz powstały przy jego użyciu.

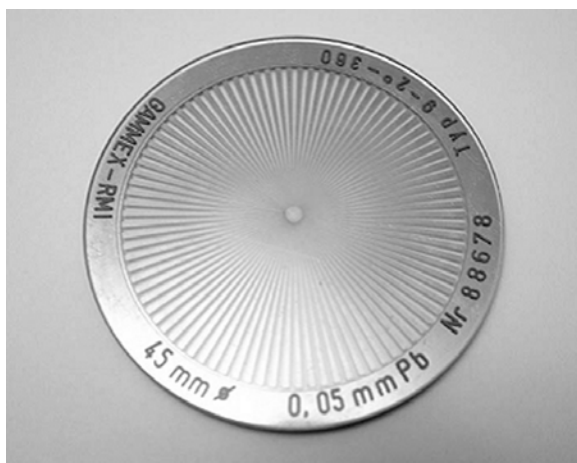


Figure 12. Star phantom.

Rycina 12. Fantom gwiazdowy.

Dla oszacowania błędu popełnianego przez wykorzystanie uproszczonego wzoru (4) zamiast dokładnego (7) założymy, że $f = 1$ mm, $d = 0,03$ mm, $y/x = 2$. Średnica obrazu wyniesie wtedy $D = 2,09$ mm, więc wyliczone ze wzoru (4) $f = 1,045$ mm. Błąd jest więc rzędu 0,05 mm i jest porównywalny z błędem wynikającym z pomiaru rozmiaru D obrazu, który mierzymy z dokładnością do 0,1 mm (dokładność podziałki).

Testy podstawowe obejmują kontrolę faktycznej zdolności rozdzielczej aparatury, a nie wpływ poszczególnych jej elementów (rozmiar ogniska, czy układ błona ekran itp.). Do pomiaru rozdzielczości przestrzennej stosowane są fantomy z większą ilością szczelin jak np. fantomy paskowe. Ważne przy tym jest, że w tych fantomach liczba linii na 1 mm jest wielkością zmienną. Przykładowe fantomy typu paskowego pokazane są na Ryc. 6.

Podstawy ich działania oparte są na tych samych zasadach co fantomów omawianych wyżej, lecz otrzymany obraz jest oczywiście bardziej skomplikowany jako że wynika on z nałożenia stref pełnego naświetlenia i półcieni od różnych szczelin. Najbardziej paradoksalnym efektem takiego nałożenia jest zamiana stref cienia i pełnego naświetlenia na obrazie fantomu. Łatwo to wyjaśnić posługując się przykładem dwóch szczelin. Na poniższych rysunkach przedstawiamy kilka sytuacji odpowiadających temu samemu ognisku i różnej gęstości szczelin.

Łatwo zobaczyć z wykresów całkowitego natężenia, że obrazy szczelin mogą być w mniejszym lub większym stopniu rozdzielone (Ryc. 7, 8 i 9), mogą się zlewać (Ryc. 10) lub może nastąpić wyżej wspomniany efekt zamiany obrazów prążków wówczas, gdy strefa półcienia z obrazu jednej szczeliny będzie nachodzić na obszar pełnego naświetlenia drugiej szczeliny. Dla tego przypadku rozkład natężenia promieniowania od każdej ze szczelin oraz obraz zaczerpnięcia wynikający z sumowania obu rozkładów przedstawiony jest na Ryc. 11.

Za kryterium określające granicę rozdzielczości przestrzennej przyjmuje się sytuację opisaną Ryc. 10, gdyż wtedy zanika obszar mniejszego naświetlenia rozdzielający obrazy obu szczelin.

Zasada działania fantomu gwiazdowego służącego do oceny rozmiarów ogniska jest podobna.

Różnica polega na tym, że ten ostatni charakteryzuje się ciągłą zmiennością liczby linii na 1 mm (malejącą wzdłuż promienia do jego środka). Dodatkową zaletą fantomu gwiazdowego, ze względu na radialną geometrię, jest możliwość oceny przy jego użyciu (pod warunkiem, że wzór paskowy wypełnia kąt 360°) peł-

Piśmiennictwo:

1. Ustawa „Prawo Atomowe” z dnia 29 listopada 2000 r., Dz. U. 2001 nr 3.
2. Rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji z dnia 25 sierpnia 2005 r.
3. IEC serii 60601 – 1 – 3: 1994, Medical electrical equipment – Part1: General requirements for radiation protection in diagnostic X – ray equipment.
4. IEC serii 60601 – 2 – 7: 1998, Medical electrical equipment – Part2: Particular requirements for the safe of high – voltage generators of diagnostic X – ray generators.
5. IEC serii 61223, Evaluation and routine testing in medical imaging departments – Part3-1: Acceptance tests – Imaging performance of X-ray equipment for radiographic and radiosopic systems.
6. Fabiszewska E, Jankowska K: Testy kontroli jakości konwencjonalnych aparatów rentgenowskich wyposażonych w tor wizyjny, Zeszyt Metodyczny Nr 1. Warszawa: Polskie Towarzystwo Badań Radiacyjnych PTBR, 2004.
7. Nowak R: Statystyka dla fizyków. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2002.